

CS101 Cheatsheet

2024.12.21, Compiled by AgY_12, CCME

说明:该Cheatsheet省略了大量基础语法(包括基本的处理输入的方法),不适合刚接触CS食用

目录

- [1 一句话小技巧](#)
 - [随机数:](#)
 - [深拷贝:](#)
 - [保留小数](#)
 - [sys.stdin.readlines\(\)](#)
 - [for index,value in enumerate\(list\)](#)
 - [无穷大](#)
 - [lru_cache](#)
 - [while...else...](#)
 - [lambda](#)
 - [海象运算符\(OJ上的py3.8用不了!!!\)](#)
 - [递归可视化](#)
 - [递归深度限制设置](#)
 - [位运算](#)
 - [本地调试可以按Ctrl+D作为EOF](#)
- [2 数据结构与相应操作的时间复杂度](#)
 - [2-1 defaultdict](#)
 - [2-2 OrderedDict](#)
 - [2-3 双端队列\(deque\)](#)
 - [2-4 小顶堆\(heapq\)](#)
 - [2-5 列表](#)
 - [2-6 元组](#)
 - [2-7 集合](#)
 - [2-8 字典](#)
 - [2-9 迭代器和生成器](#)
- [3 函数与算法](#)
 - [3-1 欧拉筛\(ES\)](#)
 - [3-2 大非负整数乘法](#)
 - [3-3 dfs](#)
 - [3-4 bfs](#)
 - [3-5 Dijkstra算法](#)
 - [3-6 全排列与Cantor展开](#)
 - [3-6-1 Cantor展开与range\(1,n+1\)的全排列](#)
 - [3-6-2 不可Cantor展开的排列](#)
 - [3-7 Narayana Pandita算法求下一个排列](#)
 - [3-8 二分查找](#)
 - [3-9 LIS\(最长\(严格\)上升子序列\)问题的二分解法](#)
 - [3-A Kadane算法及衍生的最大子矩阵求法](#)
 - [3-B 排序](#)
 - [3-B-1 归并排序MergeSort,O\(nlogn\)](#)
 - [3-B-2 快速排序QuickSort,O\(nlogn\)](#)

1 一句话小技巧

随机数:

```
import random
x=random.randint(a,b)#>=a,<=b的随机整数
x=random.random()#0~1随机浮点数
x=random.uniform(a,b)#a,b之间随机浮点数
x=random.choice(list)#在列表list中随机选择
```

深拷贝:

```
from copy import deepcopy
lcopy=deepcopy(l)
```

保留小数

```
"{: .2f}".format(num)
#或
"% .2f" % num
```

建一个以每行输入的字符串为元素的列表: `sys.stdin.readlines()`

遍历每一项的索引和值组成的元组(类似于 `dict.items()`): `for index,value in enumerate(list)`

无穷大: `float('inf')`

`lru_cache`(用来存储每次递归的结果,遇到相同自变量的递归时直接返回这个结果,因此它不能在此时再进行更新其中的全局变量的操作):

```
from functools import lru_cache
@lru_cache(maxsize = 128)
```

循环正常结束后执行的语句: `while...else...`

临时"弄一个"函数:`lambda`

```
list.sort(key = lambda list:list[0])
```

海象运算符(OJ上的py3.8用不了!!!)用来给变量赋值

```
if n:=int(input())!=0:...
```

递归可视化

```
from recviz import recviz
@recviz
def dfs(...):
```

递归深度限制设置: `sys.setrecursionlimit(...)`

位运算: `a<<b`就是在`bin(a)`(a的二进制表示)后加b个0

使用`sys.stdin`在本地调试可以按`Ctrl+D`作为EOF

2 数据结构与相应操作的时间复杂度

2-1 defaultdict

- 这是一种"如果访问的key不存在与字典中,就给它新建一个默认值 `dict[key]=default_value` 的字典

```
from collections import defaultdict
a=defaultdict(list)#以空列表为默认值的defaultdict
#类似地,括号里是int,set也可以
```

- 如果要自定义默认值,用 defaultdict(lambda: XXXX)

2-2 OrderedDict

- 这是一种"输入顺序即遍历顺序"的字典.这种字典可以像列表一样进行两端弹出

```
from collections import OrderedDict
od=OrderedDict()
od['a']=1
od['b']=2
od['c']=3
od['d']=4
```

- 删除一个元素: del od[key]
- 弹出一个元素: od.pop(key[, default]) #后面可加的default是当key不在字典中时返回的默认值
 - 注意,pop的时间复杂度是O(n),而普通字典是O(1)
- 弹出末尾: od.popitem()
- 弹出首: od.popitem(last=False)

2-3 双端队列(deque)

- 可以从两端弹出元素,但弹出中间元素会很慢

```
from collections import deque
deque.popleft(item)#左弹出
deque.pop(item)#右弹出
deque.appendleft(item)#左加入
deque.append(item)#右加入
```

2-4 小顶堆(heapq)

- 这是用一个列表实现小顶堆的数据结构.小顶堆是一种儿茶素(x)(二叉树),根节点最小,每一个节点都比它的孩子小.
- 你可以先建立一个列表,然后对它做堆操作,这样它就被你当成了一个堆
- (python没有大顶堆数据结构,想要做大顶堆可以把heapq里面所有元素加负号)

```
import heapq
heap=[6,5,4,3,2,1]#注意现在它还只是一个普通的列表
```

- 如果它的元素并不是以堆的形式排列的,就给它"堆化": heapq.heapify(heap)
- 堆化后的a应为 [1,2,4,3,5,6] (以堆的形式排列的方式显然不止一种)
- 然后可以对堆进行堆操作:

```
import heapq
heapq.heappush(heap, item)#推入元素
heapq.heappop(heap)#弹出堆顶
heapq.heappushpop(heap, item)#先推再弹,更高效
heapq.heapreplace(heap, item)#先弹再推(SNI) (bushi)
```

- 弹出和推入都是O(log n)
- 推入的原理是把新元素先加到堆底然后上滤(一层层与父节点比较,如果更大就与父节点交换).
所以如果对一个没有堆化的列表进行堆推入,得到的不是堆(而是把这个列表当做完全二叉树做上述操作得到的结果).

2-5 列表

- 构建二维列表: [[]], [], ... (就是列表套列表)
- 清空: l.clear(), O(1)
- 切片: l[a:b], O(b-a), 不是O(1)!
- 反转: l.reverse(), O(n)
- 浅拷贝问题:当列表等被拷贝时,拷贝的是列表的地址而不是列表本身

```
a=[1,2,3]
b=a
```

此时a,b共用一个地址,其中任何一个被改变时,另一个也会相应改变.

这称为"浅拷贝".(如果你知道FL Studio...这就相当于FL Studio里面复制一个pattern)

与之相反的叫深拷贝,拷贝的是列表本身(相当于复制了pattern然后make unique)

```
from copy import deepcopy
a=[1,2,3]
b=a[:]
c=[[1,2],[2,3],[3,4]]
d=c[:]
e=deepcopy(c)
```

对于一维列表,用切片复制就可以实现深拷贝, `l.copy()` 与之是等价的.

对于 ≥ 2 维的列表,如果用切片或者 `l.copy()`,那里面那些小列表还是浅拷贝的.如果要完全深拷贝自身,需要用`deepcopy`函数

- 列表化: `list(x)`,时间复杂度取决于遍历x的长度.其中x可以是以下:
 - 字符串: `list('abc')==['a','b','c']`
 - 迭代器/生成器(`range`啊`map`啊这类的):
 - `list(range(4))==[0,1,2,3]`
 - `list(map(int,input().split()))==[2,5,1]` (假设输入'2 5 1')
 - `list(enumerate([2,5,1]))==[(0,2),(1,5),(2,1)]`

2-6 元组

- 跟列表差不多,除了不能增删改.

2-7 集合

- 顾名思义,集合中不能有重复的元素,否则会自动去重.
- 集合内的元素只能是"零维的"标量.**
- 添加: `s.add(x)`
- 查询: `x (not) in s`, **$O(1)$**
- 删除:
 - `s.remove(x)`, **$O(1)$**
 - `s.discard(x)`, **$O(1)$** :删除x,如果没找到x就无事发生
- 弹出: `s.pop()`, **$O(1)$** :随弹出一项
- 清空: `s.clear()`, **$O(1)$**
- 集合运算:
 - 并: `a|b`, **$O(\text{len}(a)+\text{len}(b))$**
 - 交: `a&b`, **$O(\text{len}(a)+\text{len}(b))$**
 - 差:
 - `a-b`, **$O(\text{len}(a)+\text{len}(b))$** ,注意这是表示 $\in a$ 且 $\notin b$ 的元素的集合,
如 `{1}-{1,2}==set()`, `{1,2}-{1}=={2}`
 - `a^b`,对称差,等于`a|b-a&b`
 - `a>=b`,`a>b`,`a<=b`,`a<b`, **$O(\text{len}(\text{小的那个}))$** 表示集合的包含关系,如果既不是子集也不是超集也返回False
- 构建集合:
 - 空集: `a=set()`
 - 集合化: `set(x)`,x是列表\元组\字典(a是字典则会返回所有键组成的集合)

2-8 字典

- 字典的键只能是"零维"标量(int,float这种),而非"一维"以上的复合数据类型.
- 删除: `del d[key]`
- 弹出:
 - `d.pop(key)`, **$O(1)$**

- `d.popitem()` , $O(1)$,随机弹出一个键值对元组
- 获取: `d.get(key)` , $O(1)$,如果key不在字典则返回None而不报错
 - `d.get(key,dft)` 可以在key不在字典时返回默认值dft
- 清空: `d.clear()` , $O(1)$
- 键or值们: `d.keys()` , `d.values()` , $O(1)$.

2-9 迭代器和生成器

- range就是一种迭代器,它在迭代时,每次生成一个量.
- 可以被列表/元组/字典/集合化.
- python中常用的迭代器/生成器有以下几种:
 - `range(n)` :生成0,1,...,(n-1)的整数序列
 - `enumerate(list)` :依次生成列表/元组中每一项索引与元素的对应:
 - `list(enumerate(['a','b','c']))=[(0,'a'),(1,'b'),(2,'c')]`
 - `dict(enumerate(['a','b','c']))={0:'a',1:'b',2:'c'}`
 - `zip(a,b)` :依次生成列表/元组a,b中每一项的对应.如果有一方有多余项,则不管
 - `list(zip([1,2,3],[11,22]))=[(1,11),(2,22)]`
 - dict 类似

3 函数与算法

3-1 欧拉筛(ES)

- 筛出 $1 \leq i \leq n$ 所有的素数
- 输入范围n,输出1~n的素数列表
- 如果你想查询一个很大的数是不是素数,把里面prime一开始做成集合再返回用来查询

```
def ES(n):
    isprime=[True for _ in range(n+1)]
    prime=[]
    for i in range(2,n+1):
        if isprime[i]:
            prime.append(i)
            for j in range(len(prime)):
                if i*prime[j]>n:break
                isprime[i*prime[j]]=False
                if i%prime[j]==0 :break

    return prime
```

3-2 大非负整数乘法

```
def times(a,b):
    a,b=list(str(a)),list(str(b))
    a.reverse()
    b.reverse()
    ans=[0 for i in range(10002)]
    for j in range(len(b)):
        for i in range(len(a)):
            ans[j+i]+=int(b[j])*int(a[i])%10
            ans[j+i+1]+=ans[j+i]//10
            ans[j+i]%=10
            ans[j+i+1]+=int(b[j])*int(a[i])//10
    i=0
    while i==0 and ans:
        i=ans.pop()
    ans.append(i)
    res=''
    for i in ans[-1::-1]:
        res+=str(i)
    return int(res)
```

3-3 dfs

- 直接在矩阵中进行dfs吧!
- 以下是对一个矩阵湖的dfs,其中1表示水,0表示陆地.
- 我们要找到一块连通的水域,但不能对这个湖产生影响(即:修改矩阵中的元素).
 1. 先用主函数找到一个水的点,然后进入dfs
 2. 从这个点开始向四周探路, for dx,dy...
 3. 如果遇到一个符合条件的点(在矩阵范围内,是水),就继续从这个点dfs(进入下一层递归).
但在此之前,我们为了防止回到原先这个点,在进下一层之前,得临时把原来的点填成陆地.
 4. 就这样一直往下走,如果走到死胡同(周围全是地)了, for dx,dy in d 这个循环就会终止,这一层的递归就结束了,就回到了上一层(即:退了一步)
 5. 退了一步,就会把上一步的那个临时填平的点恢复成水域,然后上一层的for循环继续(也就是朝其他方向走)了.
 6. 这样,我们就遍历了一片连通水域中的所有点,而且当我们遍历结束后,这个矩阵湖没有受到任何影响.
 7. 当然,如果还要找其他所有水域,我们必须在主函数里先一个个点遍历,遍历到水再进dfs.

```
def dfs(x,y):
    d=[(-1,-1),(-1,0),(-1,1),(0,-1),(0,1),(1,-1),(1,0),(1,1)]
    for dx,dy in d:
        nx,ny=x+dx,y+dy
        if 0<=nx<len(mat) and 0<=ny<len(mat[0]):
            if mat[nx][ny]==1:
                mat[x][y]=0
                dfs(nx,ny)
                mat[x][y]=1
```

- 当然,这只是最基础的dfs,而我们在dfs时通常要进行一些别的操作.例如:
 - 一边遍历一边把湖填平:把原来"临时填平"的操作改成在进入dfs时永久填平,即在 for dx,dy... 之前加上 mat[x][y]=0
 - 一边遍历一边记录递归深度(走了多远):在dfs的参数里多放一个 S=0 ,即 dfs(x,y,S=0) ,然后进入下一个层就把S加一,即把 dfs(nx,ny) 改成 dfs(nx,ny,S+1)
 - 路径(就是这条路怎么走的),路径权值和(比如每个点放了一定数量的金币,走这条路一共捡到几个金币)等与**某一条路径相关的量**都可以用**参数**这种方式记录.
 - 一边遍历一边记录水域面积:放一个全局变量S,每次入dfs之后 S+=1
 - 与**整个dfs而不是某一条特定路径相关的量**(比如最短路径长度,水域面积,最大权值和路径)用**全局变量**记录.
 - 如果这不是湖,这是迷宫,有终点,走到终点就跳出:在探路之前加上终点判断 if (x,y)==e: return .

3-4 bfs

- 直接在矩阵里bfs了
- 同样,我们需要用bfs来遍历一个矩阵湖中的某片连通水域,1表示水,0表示地.步骤如下:
 1. 先在主函数里遍历矩阵湖,找到一个水的点.
 2. 建立集合v,存储已经走过的点,防止重走.
 3. 建立

```
from collections import deque
def bfs(x0,y0,mat):
    q=deque([(x0,y0)])
    d=[(-1,0),(1,0),(0,1),(0,-1)]
    v=set()
    while q:#确定当前位置
        x,y=q.popleft()
        v.add((x,y))
        for dx,dy in d:#从当前位置开始探路
            nx,ny=x+dx,y+dy
            if 0<=nx<len(mat) and 0<=ny<len(mat[0]) and mat[nx][ny]==1:
                q.append((nx,ny))
```

- 与dfs类似,对于与某一条路径相关的量(如路径长度),可以作为参数放在q里,即把q里的元素写成(x,y,l),其中l是路径长.这种方法常用来求迷宫中两点的最短路径.
- 与全局相关的量用全局变量存储(如连通域面积),比如求面积S就每次"确定当前位置之后S+1
- 迷宫中最短路径的求法:用(x,y,l)记录点的位置和路径长,在探路前加判断:如果走到终点,即 (x,y)==e ,就return l.

3-5 Dijkstra算法

- 读作/'daikstrə/,不是dijiekestra...
- 这个算法用于以下情景:一个加权的图(图的每条连线都有一个权重),要求A到B点权重代数和的最小值.
- 例如,几座城市之间修了一些路,每条路有一个长度,要求A城到B城最短的路是多长.
- 对于一般的图,都是如下做法:
 1. 构建邻接表(每个节点跟其他哪些节点连在一起,列一张表).
 2. 构建小顶堆q存储即将遍历的点
 3. 一边遍历一边探路一边更新最小距离(就是bfs)
- 看起来很抽象.直接上代码:

```
import heapq

def dijkstra(n, edges, s, t):
    graph = [[] for _ in range(n)]
    for u, v, w in edges:
        graph[u].append((v, w))
        graph[v].append((u, w))#构建邻接表
    pq = [(0, s)] # (distance, node)
    visited = set()
    distances = [float('inf')] * n
    distances[s] = 0
    while pq:#遍历节点
        dist, node = heapq.heappop(pq)
        if node == t: return dist
        if node in visited:
            continue
        visited.add(node)
        for neighbor, weight in graph[node]:#走到一个节点-->探路边上的邻居
            if neighbor not in visited:
                new_dist = dist + weight
                if new_dist < distances[neighbor]:
                    new_dist = dist+weight#更新距离
                    if new_dist < distances[neighbor]:
                        distances[neighbor] = new_dist
                    heapq.heappush(pq, (new_dist, neighbor))

    return -1
```

- 这段代码更抽象了,也不够贴近生活实际.
- 在CS101中,我们见到的更多是基于矩阵的Dijkstra算法,因此我们来看看,如果遍历的是矩阵这种特殊的图,Dijkstra算法长什么样.
- Dijkstra的本质是bfs,所以我们拿bfs的代码简单改一下就好了.以下是将一个普通bfs修改为Dijkstra的过程:(注:以下的权重和/权值和就比如说走山路那题的体力消耗量)

1. 把函数名从bfs改成Dijkstra(确信)
2. 用小顶堆代替原先的队列q,q中的元素为(w,x,y)元组,其中w是权值和,x,y是坐标.这样每次访问的都是q中权值和最小的点.(实际上这叫优先队列)每次都访问权值和最小的点,使得第一次到终点时的权值和就是全局最小的权值和,也就是第一次到终点的时候就可以直接break而不需要再从其他路径到终点来更新最小权值和.
注意:heapq的元素如果是元组,会依次按元组中第一,第二...个元素的大小作为该元组的大小比较的依据.所以为了让q按权重和排序,q中的点应表示为 (w,x,y) ,其中 w=weight[x][y] ,是该点到起点的最小权重和
3. 建立一个与mat一样大的weight矩阵存储起点到每个点的最小权重和,每个点初值赋为无穷大,除了起点是0(权值和既需要存在这个矩阵里,也要存在q中的元组里,两个地方都需要用到这个权值和)
4. 开始bfs, while q ...这段不变
5. 探路, for dx,dy in d ... 这段,入q条件改成:nx,ny在矩阵范围内,起点到nx,ny的权重和小于 weight[nx][ny] (之前的路径走出的起点到nx,ny的权重和)
6. 在入堆的同时更新 weight[nx][ny]

- 代码如下:

```
import heapq

def dijkstra(s,mat,e):#s,e分别是起点和终点. 起点s=(0,x0,y0), 终点e=(xe,ye).
    MAXN=float('inf')
    weight=[[MAXN]*len(mat[0]) for _ in range(len(mat))]
```

```

q=[s]
weight[s[1]][s[2]]=0
d=[(-1,0),(1,0),(0,-1),(0,1)]

#开始bfs
while q:
    w,x,y=heapq.heappop(q)

    #先处理到终点的情况
    if (x,y)==e:
        return weight[x][y]

    #然后探路
    for dx,dy in d:
        nx,ny=x+dx,y+dy
        if 0<=nx<len(mat) and 0<=ny<len(mat[0]):#不用not in visited
            new_w=weight[x][y]+_____#这段填上点(x,y)到(nx,ny)的权重
            if new_w<weight[nx][ny]:
                weight[nx][ny]=new_w
                heapq.heappush(q,(new_w,nx,ny))

return -1

```

3-6 全排列与Cantor展开

3-6-1 Cantor展开与range(1,n+1)的全排列

- 有1,2,...,n共n个数,想要枚举出它们所有的排列,按字典序从小到大,可以用Cantor展开和逆Cantor展开解决.
- **Cantor展开可以将这些排列每个对应到一个编号上.**以下是计算编号的方法:

- 对于每个数,看它后面有几个比它小的数,它的贡献就是几
- 从右到左的每一位都有一个权重,从0!一直到(n-1)!
- 将每个数的贡献和它所在那一位的权重相乘,求和,就是这个排列的编号.

- 例如,有1,2,3这三个数,求2,3,1的编号:
 - 2,3,1的贡献分别为1,1,0
 - 从左到右位的权重分别是2!=2,1!=1,0!=1
 - 编号=12+11+0*1=3

- **逆Cantor展开是通过排列的编号求出排列的方法.**做法如下:

0.构建数组 nums=list(range(1,n+1)),即1,2,...,n

- 编号除以最左边一位的权重,得到商s和余数q
- 从nums中取出一个数,对于这个数,nums中应有s个数比它小.将这个数放到最左边一位.
- 对于余数q,重复1和2,直到数组取完.

- 例如,由3求出排列2,3,1:
 - s=3//2=1,从[1,2,3]取出"有一个数比它小"的数:2
 - q=3%2=1.下一轮:
 - s=1//1=1,从[1,3]取出"有一个数比它小"的数:3
 - q=1%1=0.下一轮:
 - s=0//1=0,从[1]取出最小的数:1
 - q=0%1=0,下一轮:数组空了,结束了

- Cantor和逆Cantor的代码如下:

```

import math
def Cantor(nums):
    res=0#res是最终的编号
    for i in range(len(nums)):#对于nums中的每个数
        c=0
        for j in range(i+1,len(nums)):#找到它后面有几个比它小的数
            if nums[j]<nums[i]:
                c+=1
        res+=c*math.factorial(len(nums)-1-i)

```



```
return res
```

```
def retro_Cantor(x, length): #length是排列的长度, 不然我就不知道是123的排列还是1234的排列了
    res=[]
    r=list(range(1, length+1))
    for i in range(length-1, -1, -1):
        f=math.factorial(i)
        res.append(r.pop(x//f))
        x%=f
    return res
```

- 这样, 只要从第一个排列开始, Cantor-->编号-->编号+1-->retro_Cantor, 就能找到下一个排列.
- 如此找n!次, 就可以回到第一个排列.

3-6-2 不可Cantor展开的排列

- 2,3,6这样的排列怎么办?(注:一个排列里不可能有两个相同的数)同样用连续"下一个排列"的方法.
- 我们可以将2,3,6这样'Uncantorable'的排列通过字典映射到1,2,3这样'Cantorable'的排列上, 然后通过Cantor找下一个排列, 再映射回去.
- 建立字典和逆映射的字典即可.
- 例如: cast={2:1, 3:2, 6:3}, reversed_cast={1:2, 2:3, 3:6}
- 代码如下:

```
def next_arrange(a):
    b=[0]+sorted(a)
    reversed_cast=dict(enumerate(b)) #对a中的元素逆映射
    cast={v:k for k,v in reversed_cast.items()}
    cantorable_a=[cast[i] for i in a]
    _=(1+Cantor(cantorable_a))%math.factorial(len(a))
    cantorable_new_a=retro_Cantor(_, len(a))
    new_a=[reversed_cast[i] for i in cantorable_new_a]
    return new_a
```

3-7 Narayana Pandita算法求下一个排列

- 对于'Uncantorable'的排列, 要求下一个排列, 可以使用这种算法--这可比康拓简单多了! 实现方法如下:
 1. 对于排列nums, 从右往左找到第一个降序(左<右)的相邻数对 (nums[i], nums[i+1]), nums[i]<nums[i+1] .如果一直找不到, 就说明这是整个从右到左升序, 即从左到右降序的排列, 即最后一个排列了. 就反转nums.
 2. 找到之后, 从右往左找到第一个比nums[i]大的数num[j], 调换这两个数.
 3. 把 nums[i+1:] 反转.

```
def NP(nums):
    for i in range(len(nums)-2, -1, -1):
        if nums[i]<nums[i+1]:
            for j in range(len(nums)-1, i, -1):
                if nums[j]>nums[i]:
                    nums[j], nums[i] = nums[i], nums[j]
                    tmp=nums[len(nums)-1:i:-1]
                    nums[i+1:]=tmp
                    return nums
    else:
        nums.reverse()
        return nums
print(NP([4,2,6,3]))
```

3-8 二分查找

- 二分查找的边界条件是一个令人头疼的问题,这已经得到了官方认证(如图).



闫宏飞老师 pku 计概 b

如果用 bisect 源码的二分查找写法, <https://github.com/python/cpython/blob/main/Lib/bisect.py> 就不用考虑死循环问题。二分好理解, 不好写, 我也写不对, 就搬了个源码模版。

- 一般的bisect_left代码如下.这种二分对升序列表进行查找,找到的返回值lo左边的所有数都比x小,lo本身及其右边都不比x小.

```
def bisect_left(a, x, lo=0, hi=None, *, key=None):
    if hi==None:
        hi=len(a)
    if key is None:
        while lo < hi:
            mid = (lo + hi) // 2
            if a[mid] < x:
                lo = mid + 1
            else:
                hi = mid
    else:
        while lo < hi:
            mid = (lo + hi) // 2
            if key(a[mid]) < key(x):
                lo = mid + 1
            else:
                hi = mid
    return lo
```

- 由此我们可以将这段代码引申为:返回lo,lo左边都是满足条件f(x)的,而lo及lo右边都是不满足的.
 - 即判断条件 `key(a[mid]) < key(x)` 或 `a[mid]<x` 改为 `f(x)==True`
 - 注意更新lo,hi的操作分别为`lo=mid+1`和`hi=mid`,循环条件是`lo<hi`
- 如果对代码进行一些改动,变成
 - 返回值及左边都满足f(x),右边都不满足:
 - 其他操作不变,返回值变成lo-1.
 - bisect_right(返回值左边都不大于x,返回值及右边都大于x):
 - 判断条件改为 `a[mid]<=x` ,返回值为lo(不变)
- 省流:
 - 循环条件永远是`lo<hi`不动,只改变返回值
 - "返回值及左边都..."=>返回lo-1
 - "返回值左边都..."=>返回lo

3-9 LIS(最长(严格)上升子序列)问题的二分解法

- 建立一个dp数组,初值全设为无穷大,其中的第k项存储"长度为k的上升子序列的最小的末尾值"
- dp必然是递增的,因为长度更长的上升子序列末尾值应该>它中间某项的值=长度更短的上升子序列的末尾值.这很重要!
- 遍历序列,对于第i项,找到它可以被作为长度为几的上升子序列的末尾,然后更新这个末尾.这就是二分查找的东西.
- 最后,dp有多少项填了数,LIS长度就是多少

- 如图

a: 3 5 2 1 4 6

dp: [1 5 4 6 ∞ ∞ ∞]

长为2的IS: [3, 5] → [3, 4]

长为3的IS: [3, 4] → [3, 4, 6]

len(LIS) = 3.

```
import bisect
def lis(a):
    dp=[float('inf')]*(len(a)+2)
    for i in range(len(a)):
        dp[bisect.bisect_left(dp,a[i])]=a[i]
    print(dp)
    return bisect.bisect_left(dp,float('inf'))
```

3-A Kadane算法及衍生的最大子矩阵求法

- 给定一个序列v,其中有正数有负数有0,求其中和最大的子串(即:这个序列里连续的一些数,使之和最大).
- 基本思想是:土豪购物,但不放回.(这是2024大雪的月考题...题目的一部分是:土豪看到一串商品,它们的价值有正有负有0,土豪要买连续的一些商品,使买到的商品价值总和最大)如下图(第二行的l[j]应是v[j])

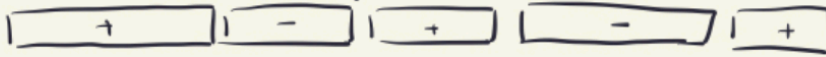
记 $dp[i]$ 为前 i 个商品, 不放回, 可获得最大价值.

$v[i]$ 为商品 i 的价值

商品必然可分为如下几段:

一段内所有商品价值和 ≥ 0 (记为 +)

一段内所有商品价值和 < 0 (记为 -)



当考虑相邻两段合并时, 又可以合成一段 + 或 -



如果不考虑放回, 应有如下策略:

1> $<$ 如果前一段为负, 不如不拿这段, 直接考虑后面.

2> 拿 + - + 交替应先将 + - 合并再考虑.



于是有 $dp[i] = \max(dp[i-1] + v[i], v[i])$

如果 $dp[i]$ 原来为负, 那就对应 1>

如果 $dp[i]$ 原来为非负, 那不管 $v[i]$ 的正负, 加上再说

- 即: $\text{max_cur} = \max(\text{max_cur} + v[i], v[i])$. 如果 max_cur (已经买到的商品总价值) 已经为负, 就把它全扔了重买第 i 个. 否则不扔, 并买第 i 个.
- 每次买之后都要更新一下商品的总价值 (max_all).

def kadane(v): # 卡丹算法求最大子序列

max_cur = 0

max_all = 0

for i in range(len(v)):

max_cur = max(v[i], max_cur + v[i])

max_all = max(max_all, max_cur)

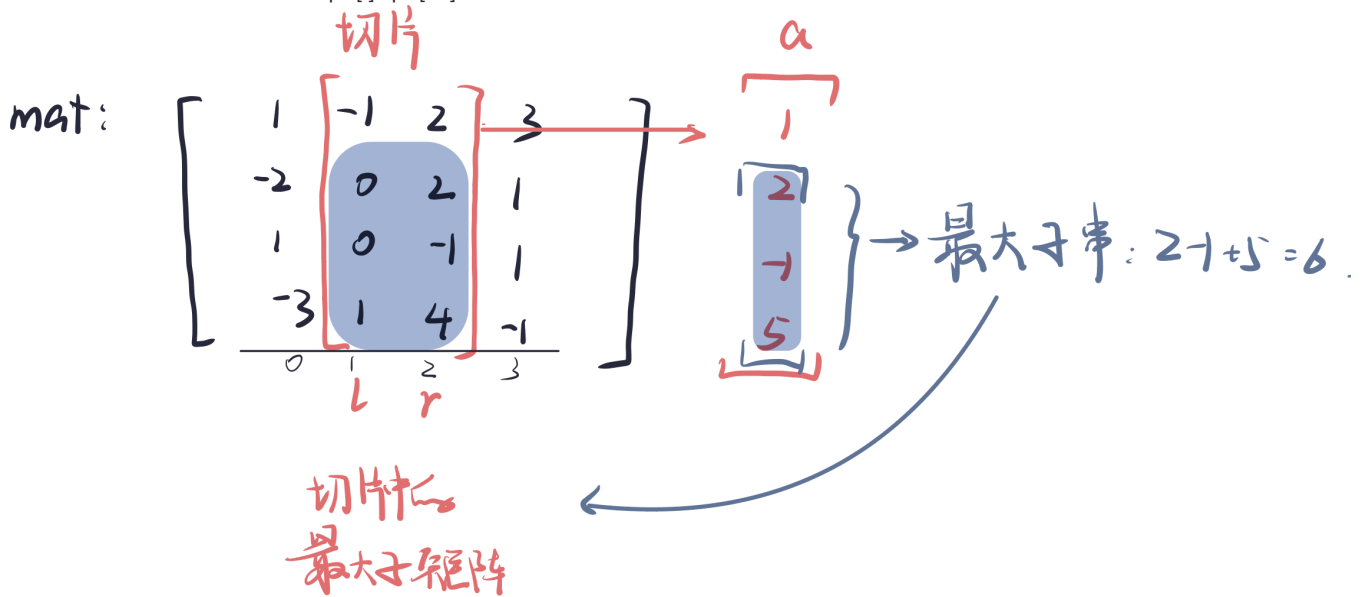
return max_all

- 通过这种算法进行衍生, 可以类似地求最大子矩阵. 具体思路是:

1. 选出矩阵的第 l 至 r 列作为一个切片, 对于这个切片的每一行, 求出其和, 以这些和构建一个列表 a , 这样就把第 l 至 r 列的矩阵切片一维化了.
2. 用 Kadane 算法求出这个列表 a 的最大子串的值, 这就是第 l 至 r 列的最大子矩阵的值. 如图.
3. 遍历所有可能的 l, r , 然后求出全局的最大子矩阵的值.

- 求切片的和时可以用前缀和:

1. 构建一个前缀和矩阵qzh, 每一行的第i个元素是这一行第0~i元素的和
2. 某一行l~r列的元素的元素和就是qzh[r]-qzh[l-1]. 前缀和矩阵需要在左边加一列0做保护层



```
def qzh(mat,n,m):#前缀和
    qzh=[]
    for i in range(n):
        qzh.append([0])
        for j in range(m):qzh[i].append(qzh[i][-1]+mat[i][j])
    return qzh
def kadane(a):#卡丹算法求最大子序列
    max_cur=0
    max_all=0
    for i in range(len(a)):
        max_cur=max(a[i],max_cur+a[i])
        max_all=max(max_all,max_cur)
    return max_all
def max_submat(qzh,n,m):
    #现在我要算每个对于左边界为l, 右边界为r的, 上下浮动和伸缩的一系列子矩阵的最大值
    maxn=0
    for l in range(1,m+1):
        for r in range(l,m):
            a=list(qzh[i][r]-qzh[i][l-1] for i in range(n))
            maxn=max(maxn,kadane(a))
    return(maxn)
#主函数
n,m=map(int,input().split())#行数:n,列数:m
mat=[]
for i in range(n):
    mat.append(list(map(int,input().split())))
qzh=qzh(mat,n,m)
```

3-B 排序

3-B-1 归并排序MergeSort,O(nlogn)

- 通过将数组划分成两个小数组,每个小数组排序,然后把两个数组归并到一起(分治)
- 所以有两个操作:归并和排序.
- 是稳定排序,即排序完成后相同大小的元素的相对位置不变.比如有5,5两个5(第二个5为了清楚表示用加粗标记),排完不会变成5,5

```
def MergeSort(arr):
    if len(arr)<=1: return arr
    else:
        l,r=arr[:len(arr)//2],arr[len(arr)//2:]
        return Merge(MergeSort(l),MergeSort(r))
def Merge(l,r):
    res=[]
```

```

i,j=0,0
while i<len(l) and j<len(r):
    if l[i]<=r[j]:
        res.append(l[i])
        i+=1
    else:
        res.append(r[j])
        j+=1
res+=l[i:]+r[j:]
return res

```

3-B-2 快速排序QuickSort, $O(n\log n)$

- 先在数组arr中随便选一个值mid,不妨选数组中央的那个值 $mid = arr[\text{len}(arr)//2]$
- 建立左中右(l,m,r)三个新数组,比mid小的全放到l,比x大的放到r,等于mid的放到m
- 然后对左中右分别继续排,排完合并到一起就行了
- 不稳定

```

def quickSort(arr):
    if len(arr)<=1:
        return arr
    else:
        mid=arr[len(arr)//2]
        l,m,r=[],[],[]
        for i in arr:
            if i < mid : l.append(i)
            elif i > mid : r.append(i)
            else : m.append(i)
        return quickSort(l) + m + quickSort(r)

```